

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-007738

(43)Date of publication of application : 12.01.1999

(51)Int.Cl. G11B 21/10
 G11B 5/02
 G11B 5/39
 G11B 19/02

(21)Application number : 09-158847

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 16.06.1997

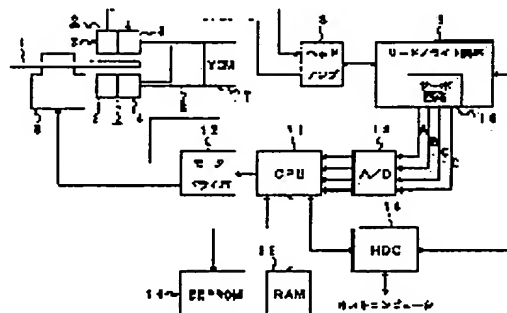
(72)Inventor : KARITA HIROYUKI

(54) DISK MEMORY APPARATUS AND METHOD APPLIED TO THE APPARATUS FOR CONTROLLING POSITIONING OF HEAD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To highly accurately detect an off-track amount from an operation result and realize highly accurate control for positioning of a head even when a linearity is not secured in a relationship of the operation result of a positional error using servo burst data read out from a read head and the off-track amount.

SOLUTION: A CPU 11 calculates an off-track relationship information of a relationship of an absolute position of a read head 3 within an area of a servo track on a disk 1 and an operation result of a positional error to the absolute value, and stores the information in an EEPROM 16. When the read head 3 is to be positioned to a target track at the time of normal access to data, the CPU 11 can estimate correctly an off-track position of the read head from an approximate curve indicating a relationship value of an off-track amount and the operation result as the off-track relationship information stored in the EEPROM 16.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-7738

(43)公開日 平成11年(1999) 1月12日

(51)Int.Cl.⁶
 G 1 1 B 21/10
 5/02
 5/39
 19/02

識別記号

5 0 1

F I

G 1 1 B 21/10
 5/02
 5/39
 19/02

A

U

5 0 1 L

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平9-158847

(22)出願日 平成9年(1997) 6月16日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 荻田 浩行

東京都青梅市末広町2丁目9番地 株式会
 社東芝青梅工場内

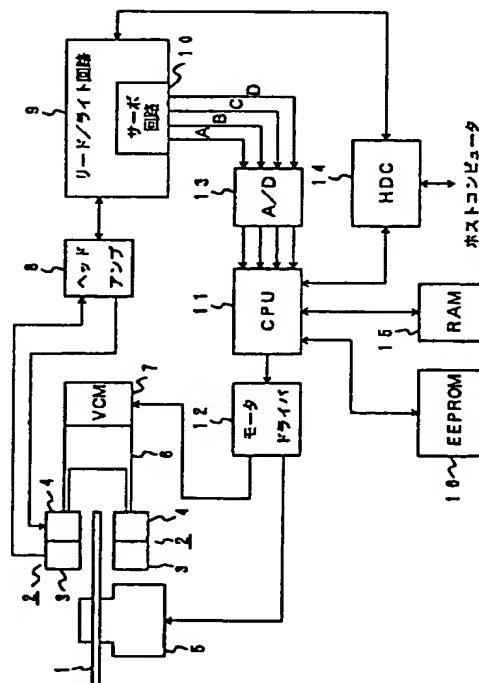
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54)【発明の名称】 ディスク記憶装置及び同装置に適用するヘッド位置決め制御方法

(57)【要約】

【課題】リードヘッドにより読出されるサーボバーストデータを使用した位置誤差演算の演算結果とオフトラック量との関係に線形性が確保できない場合でも、演算結果からオフトラック量を高精度に検出して、結果的に高精度のヘッド位置決め制御を実現することにある。

【解決手段】CPU 11は、ディスク1上のサーボトラックの範囲内でのリードヘッド3の絶対位置と、その絶対値に対する位置誤差演算の演算結果との関係を示すオフトラック関係情報を算出して、EEPROM 16に格納する。CPU 11は、通常のデータアクセス時にリードヘッド3を目標トラックに位置決めするときに、EEPROM 16に格納されたオフトラック関係情報であるオフトラック量と演算結果との関係値を示す近似曲線からリードヘッドのオフトラック位置を正確に推定することが可能となる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ディスク上のトラックからリードヘッドにより読出したサーボバーストデータを使用して、前記リードヘッドまたはライトヘッドを指定のトラックの範囲内に位置決め制御し、前記指定のトラックに対するデータアクセスを実行するディスク記憶装置であって、前記リードヘッドにより読出された前記サーボバーストデータを使用して、トラックの範囲内での前記リードヘッドの絶対位置と、前記位置決め制御時に前記サーボバーストデータを使用して前記リードヘッドのオフトラック量を求めるための位置誤差演算の演算結果との関係を示すオフトラック関係情報を算出する情報生成手段と、前記データアクセス時に前記リードヘッドにより読出された前記サーボバーストデータおよび前記情報生成手段により求められた前記オフトラック関係情報を使用して、前記指定のトラックに前記リードヘッドまたは前記ライトヘッドを位置決め制御する制御手段とを具備したことを特徴とするディスク記憶装置。

【請求項2】 前記情報生成手段は算出した前記オフトラック関係情報をメモリ手段または前記ディスク上の所定の位置に格納し、前記制御手段は前記メモリ手段または前記ディスクから前記オフトラック関係情報を読出して、前記リードヘッドまたは前記ライトヘッドを位置決め制御するときに使用するように構成されたことを特徴とする請求項1記載のディスク記憶装置。

【請求項3】 前記リードヘッドは磁気抵抗効果型のMRヘッドであり、前記制御手段は前記オフトラック関係情報を使用して、前記MRヘッドの出力特性に影響する位置決め制御の補正処理を実行するように構成されたことを特徴とする請求項1または請求項2記載のディスク記憶装置。

【請求項4】 トラック中心で直交配列されたサーボバーストデータA、Bおよび1トラック間隔で直交配列されたサーボバーストデータC、Dからなるサーボバーストデータが記録されたディスクを使用し、前記ディスクからリードヘッドにより読出した前記サーボバーストデータを使用して、前記リードヘッドまたはライトヘッドを指定のトラックの範囲内に位置決め制御し、前記指定のトラックに対するデータアクセスを実行するディスク記憶装置であって、前記リードヘッドにより読出された前記サーボバーストデータA、B、C、Dを使用して設定したトラックの範囲内での基準絶対位置を含む前記リードヘッドの絶対位置と、前記位置決め制御時に前記サーボバーストデータA、B、C、Dを使用して前記リードヘッドのオフトラック量を求めるための位置誤差演算の演算結果との関係を示すオフトラック関係情報を算出する情報生成手段と、前記データアクセス時に前記リードヘッドにより読出さ

2

れた前記サーボバーストデータおよび前記情報生成手段により求められた前記オフトラック関係情報を使用して、前記リードヘッドの位置を検出して前記指定のトラックの範囲内に前記リードヘッドまたは前記ライトヘッドを位置決め制御する制御手段とを具備したことを特徴とするディスク記憶装置。

【請求項5】 前記サーボバーストデータは、前記サーボバーストデータA、Bがトラック中心を境界として直交配列されて、前記サーボバーストデータC、Dがトラック間の位置を境界として直交配列された構成であり、前記情報生成手段は、前記リードヘッドにより読出された前記サーボバーストデータA、Bを使用した位置誤差演算の演算結果が基準値である場合の前記リードヘッドの絶対位置を絶対基準位置として設定し、前記サーボバーストデータA、B、C、Dの2データの組合わせに基づいて決定される前記リードヘッドの複数の絶対位置を設定し、前記絶対基準位置及び前記各絶対位置に対する位置誤差演算の演算結果からなるテーブル情報を前記オフトラック関係情報として生成することを特徴とする請求項4記載のディスク記憶装置。

【請求項6】 前記位置誤差演算の演算結果は、前記リードヘッドがトラックの範囲に位置しているときに読出したサーボバーストデータA、Bを使用した演算「 $A - B / A + B$ 」の演算結果であり、前記オフトラック関係情報は、設定された前記絶対基準位置及び前記各絶対位置に対して、前記リードヘッドが位置しているときの前記演算「 $A - B / A + B$ 」の演算結果からなるテーブル情報であることを特徴とする請求項4または請求項5記載のディスク記憶装置。

【請求項7】 ディスク上のトラックからリードヘッドにより読出したサーボバーストデータを使用して、前記リードヘッドまたはライトヘッドを指定のトラックの範囲内に位置決め制御し、前記指定のトラックに対するデータアクセスを実行するディスク記憶装置に適用するヘッド位置決め制御方法であって、前記リードヘッドにより読出された前記サーボバーストデータを使用して、トラックの範囲内での前記リードヘッドの絶対位置と、前記位置決め制御時に前記サーボバーストデータを使用して前記リードヘッドのオフトラック量を求めるための位置誤差演算の演算結果との関係を示すオフトラック関係情報を算出するステップと、前記オフトラック関係情報をメモリ手段に記憶するステップと、前記データアクセス時に前記リードヘッドにより読出された前記サーボバーストデータおよび前記メモリ手段に記憶された前記オフトラック関係情報を使用して、前記指定のトラックに前記リードヘッドまたは前記ライトヘッドを位置決め制御を実行するステップとからなることを特徴とするヘッド位置決め制御方法。

【請求項8】 トラック中心で直交配列されたサーボバ

3

ーストデータ A、B および 1 トラック間隔で直交配列されたサーボバーストデータ C、D からなるサーボバーストデータが記録されたディスクを使用し、前記ディスクからリードヘッドにより読出した前記サーボバーストデータを使用して、前記リードヘッドまたはライトヘッドを指定のトラックの範囲内に位置決め制御し、前記指定のトラックに対するデータアクセスを実行するディスク記憶装置に適用するヘッド位置決め制御方法であって、前記リードヘッドにより読出された前記サーボバーストデータ A、B を使用した位置誤差演算の演算結果が基準値である場合の前記リードヘッドの絶対位置を絶対基準位置として設定するステップと、

前記サーボバーストデータ A、B、C、D の 2 データの組合わせに基づいて決定される前記リードヘッドの複数の絶対位置を設定するステップと、

前記絶対基準位置及び前記各絶対位置に対する位置誤差演算の演算結果からなるオフトラック関係情報を算出するステップと、

前記データアクセス時に前記リードヘッドにより読出された前記サーボバーストデータおよび前記メモリ手段に記憶された前記オフトラック関係情報を使用して、前記指定のトラックに前記リードヘッドまたは前記ライトヘッドを位置決め制御を実行するステップとからなることを特徴とするヘッド位置決め制御方法。

【請求項 9】 ディスク上のトラックからリードヘッドにより読出したサーボバーストデータを使用して、前記リードヘッドまたはライトヘッドを指定のトラックの範囲内に位置決め制御し、前記指定のトラックに対するデータアクセスを実行するディスク記憶装置であって、前記ディスクとして所定のトラックに予めオフトラック関係情報を生成するための測定用サーボバーストデータが記録されたディスクを使用し、

前記オフトラック関係情報の生成時に前記リードヘッドにより読出された前記測定用サーボバーストデータを使用して、トラックの範囲内での前記リードヘッドの絶対位置と、前記位置決め制御時に前記サーボバーストデータを使用して前記リードヘッドのオフトラック量を求めるための位置誤差演算の演算結果との関係を示す前記オフトラック関係情報を算出する情報生成手段と、

前記前記情報生成手段により算出された前記オフトラック関係情報を格納するメモリ手段と、

前記データアクセス時に前記リードヘッドにより読出された前記サーボバーストデータおよび前記メモリ手段により格納された前記オフトラック関係情報を使用して、前記指定のトラックに前記リードヘッドまたは前記ライトヘッドを位置決め制御する制御手段とを具備したことを特徴とするディスク記憶装置。

【請求項 10】 前記測定用サーボバーストデータは、測定用サーボバーストデータ A、B がトラック中心を境界として直交配列されて、測定用サーボバーストデータ

4

C、D が相互に 1/4 トラックだけずれて、前記測定用サーボバーストデータ A、B とは異なるように配列された構成であることを特徴とする請求項 9 記載のディスク記憶装置。

【請求項 11】 前記オフトラック関係情報は、前記リードヘッドにより読出された前記サーボバーストデータを使用した位置誤差演算の演算結果に対して、トラックの範囲内における前記リードヘッドの前記絶対基準位置を含む前記絶対位置の関係を求めるための計算式であることを特徴とする請求項 1、請求項 2、請求項 3、請求項 4、請求項 5、請求項 6、請求項 9、請求項 10 のいずれか記載のディスク記憶装置。

【請求項 12】 前記測定用サーボバーストデータは、前記ディスク上の測定用トラックとして指定されたトラックの全範囲に渡って記録されていることを特徴とする請求項 9 または請求項 10 記載のディスク記憶装置。

【請求項 13】 前記測定用サーボバーストデータは、前記ディスク上に設けられた複数の測定用トラックに記録されており、

前記測定用トラック毎に、オフトラック量を求めるための測定用サーボバーストデータの配列位置が異なるように構成されたことを特徴とする請求項 9、請求項 10、請求項 12 のいずれか記載のディスク記憶装置。

【請求項 14】 前記測定用サーボバーストデータは前記ディスク上の測定用トラックとして指定された 1 つのトラックに記録されており、

前記測定用サーボバーストデータは直交配列の中心が異なる複数の測定用サーボバーストデータ A、B 及び直交配列の中心が異なる複数の測定用サーボバーストデータ C、D から構成されていることを特徴とする請求項 9、請求項 10、請求項 12 のいずれか記載のディスク記憶装置。

【請求項 15】 前記測定用サーボバーストデータは、トラック中心を境界として直交配列された測定用サーボバーストデータ A、B に対して、直交配列の中心が異なる複数の測定用サーボバーストデータ C、D から構成されていることを特徴とする請求項 9、請求項 10、請求項 12 のいずれか記載のディスク記憶装置。

【請求項 16】 前記測定用サーボバーストデータが記録された測定用トラックは、前記測定用サーボバーストデータの記録ピッチがトラックピッチより小さく設定されていることを特徴とする請求項 9、請求項 10、請求項 12、請求項 13、請求項 14、請求項 15 のいずれか記載のディスク記憶装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ハードディスクドライブ等のディスク記憶装置に適用し、特に MR (magnetoresistive) ヘッドをリードヘッドとして使用するディスク記憶装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、ハードディスクドライブ（HDD）などのディスク記憶装置（磁気ディスク装置及び光磁気ディスク装置など）は、磁気ヘッド（以下単にヘッドと称する）により記憶媒体であるディスク上にデータを書込み、またディスクからデータを読み出すように構成されている。

【0003】近年では、データの高記録密度化を実現するために、データ読み出し専用のリードヘッドとしてMR（magnetoresistive）ヘッドを使用したリード／ライト分離型のヘッドが使用されている。このタイプのヘッドは、ヘッド本体であるヘッドスライダ上に、リードヘッド（MRヘッド）と誘導型のライトヘッドとが実装された構造である。

【0004】HDDでは、ディスクから指定のデータをアクセス（リードアクセスまたはライトアクセス）するときには、ディスク上に予め記録されたサーボデータをリードヘッドが読み出す動作が実行される。HDDのCPU（メイン制御装置）は、リードヘッドにより読み出されたサーボデータを使用して、ディスク上のリードヘッドの位置を検出し、リードヘッドをアクセス対象の目標位置まで移動して位置決めするヘッド位置決め制御を実行する。アクセス対象の目標位置とは、データをリードまたはライトする目標トラックである。ライト動作では、リードヘッドの位置決め制御により、ライトヘッドを目標トラックに位置決めする。

【0005】CPUが実行するヘッド位置決め制御は、大別してヘッドを目標トラックまで移動するシーク制御（速度制御）および目標トラックの範囲内に位置決めするためのトラック追従制御（位置制御）からなる。シーク制御では、サーボデータに含まれるトラックアドレス（シリンダコード）が使用される。また、トラック追従制御では、後述するサーボバーストデータが使用される。本発明は、サーボバーストデータを使用したトラック追従制御に関するものである。

【0006】ディスク上には、図8（8A）に示すように、位相の異なるサーボバーストデータA～Dが、HDDの製造時に記録されている。このサーボバーストデータA～Dを含むサーボデータの記録に伴って、ディスク上にはサーボトラック（N-1, N, N+1）が構成される。サーボデータには、前述したように、サーボバーストデータA～D以外にトラックアドレスが含まれている。HDDでは、サーボトラックを基準として、ユーザデータの書き込み動作によりデータトラックが構成される。一般的にはサーボトラックとデータトラックとは一致している。

【0007】図8（8A）に示すように、サーボバーストデータA～Dは、サーボトラックピッチ（トラック幅Tsv）において、トラック中心で位相がずれたサーボバーストデータA, Bおよび1トラック間隔で位相がず

れたサーボバーストデータC, Dの各組合わせに大別される。即ち、サーボバーストデータA, Bは、トラック中心を境界として直交配列されたバーストパターンである。また、サーボバーストデータC, Dは、トラック間（隣接トラックとの境界）を境界として直交配列されたバーストパターンである。

【0008】リードヘッド3は、ヘッド幅（リードギャップRG）がトラック幅より狭く、サーボバーストデータA～Dを読み出す。サーボバーストデータA～Dを読み出したときのリードヘッド3の出力は、リードヘッド3の位置により異なるレベルの信号（位置信号）となる。HDDにはそれらの位置信号を処理するためのサーボ回路が設けられている。サーボ回路は各位置信号A～Dのピークをサンプルホールドして、A/D変換回路に出力する。CPUは、ディジタル値に変換されたバーストデータA～Dを入力する。CPUは、リードヘッド3により読み出されたバーストデータA～Dを使用して位置誤差演算を実行することにより、指定のトラック（例えばN）の範囲内でのリードヘッド3の位置（オフトラック量TF）を求める。

【0009】CPUは、位置制御するトラックの範囲に従って、サーボバーストデータA, Bを使用する位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」またはサーボバーストデータC, Dを使用する位置誤差演算「 $(C-D)/(C+D)$ 」を実行する。CPUは、トラック中心を基準位置（演算結果P=0）として、 $-1/4Tsv$ から $+1/4Tsv$ までの範囲については、サーボバーストデータA, Bを使用する位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して、オフトラック量TFを求める（図11を参照）。また、 $-1/2Tsv$ から $-1/4Tsv$ までの範囲と、 $+1/4Tsv$ から $+1/2Tsv$ までの範囲については、サーボバーストデータC, Dを使用する位置誤差演算「 $(C-D)/(C+D)$ 」を実行して、オフトラック量TFを求める（図8（8B）の一点鎖線を参照）。

【0010】HDDのヘッド位置決め制御では、図11に示すように、オフトラック量（トラック中心を基準位置とするトラック範囲内の絶対位置）TFに対する演算結果Pの線形性を確保することが前提となっている。この線形性の確保により、フィードバック制御系から構成されているヘッド位置決め制御では、オフトラック量の変動に対して演算結果の変動量を特定の係数（K）により定義することが可能となる。従って、フィードバック制御系において、位置変動に対するヘッド位置決め制御系のフィードバック量を特定の係数（K）により求めることが可能となる。

【0011】前述したように、近年のHDDではリードヘッドとしてMRヘッドを使用したヘッドが開発されている。MRヘッドは読み出し感度が高く、高い出力レベルの読み出し信号を得ることができる。しかし反面、その読

出し感度がリードギャップRGに対して不均一であることが実験的に確認されている。具体的には、図9に示すように、リードヘッド3の出力特性において、リードギャップRGに対して信号振幅Sが三角形状になるように不均一となる。このような出力特性では、リードヘッド3がトラック上のデータを読み出すときにはそれほど問題とならないが、リードギャップRGの左右の位置で異なるデータを読み出して、各データを比較するような場合には問題となる。即ち、図8(8A)に示すように、サーボバーストデータA、Bを、リードヘッド3のリード

【0012】

【発明が解決しようとする課題】前述したように、MRヘッドをリードヘッドとして使用した場合に、ヘッド位置決め制御では、サーボバーストデータA～Dを使用した位置誤差演算の結果Pとリードヘッドのオフトラック量との関係において、線形性を確保することができないことがある。このため、CPUは、演算結果Pから実際のオフトラック量を正確に検出することが困難となり、オフトラック量の変動に対して前記の特定の係数(K)ではなく、フィードバック量をリードヘッドのオフトラック位置により変化させる必要がある。

【0013】現行のHDDの記録密度では、前記の演算結果Pとオフトラック量との線形性がそれほど崩れていないため、図10に示すように、制御上の仮定の直線

(点線)を設定することにより、演算結果Pとオフトラック量との関係には線形性が確保されていることを想定した制御が実行されている。しかしながら、HDDの記憶容量の大容量化に伴って、ディスク上のトラックピッチ及びリードヘッドのリードギャップRGの幅が小さくなると、相対的に前記のリードギャップRGにおける読み出し感度の不均一性が増大する。また、MRヘッドの製造上の要因から、読み出し感度特性のばらつきが多く、近い将来においても均一な特性を得ることは困難である。

【0014】そこで、本発明の目的は、リードヘッドにより読み出されるサーボバーストデータを使用した位置誤差演算の演算結果とオフトラック量との関係に線形性が確保できない場合でも、演算結果からオフトラック量を高精度に検出して、結果的に高精度のヘッド位置決め制御を実現することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の観点では、ディスク上のトラック(サーボトラック)の範囲内でのリードヘッドの絶対位置(実際のオフトラック量)と、その絶対値に対する位置誤差演算の演算結果との関係を示すオフトラック関係情報を算出する情報生成手段を備えたディスク記憶装置である。ヘッド位置決め制御を実

行する制御手段(CPU)は、情報生成手段により算出されたオフトラック関係情報を使用して、トラック範囲におけるオフトラック量と演算結果との関係値を示す近似曲線を設定し、この近似曲線からリードヘッドのオフトラック位置を正確に推定することが可能となる。

【0016】要するに、オフトラック量と演算結果との非線形性を検出して、ヘッド位置決め制御系であるフィードバック制御系の中に取り込み、リードヘッドのオフトラック位置を正確に推定して、このオフトラック位置によりフィードバック制御系のフィードバック量を決定する係数Kを切り替えることができる。具体的には、制御手段は、例えばシステムの起動時に情報生成手段によりオフトラック関係情報を算出して、不揮発性のメモリ手段(例えばEEPROM)またはディスク上の所定のトラックに格納する。データアクセス時に、制御手段は、格納したオフトラック関係情報を読み出して、ヘッド位置決め制御(トラック追従制御)を実行する。なお、オフトラック関係情報は、テーブル化情報でもよいし、また演算結果に対するオフトラック量を算出するための計算式でもよい。

【0017】本発明の第2の観点は、ディスク上の所定のトラックを、オフトラック関係情報を生成するための測定用トラックとして設定した方式である。この測定用トラックは、通常のサーボバーストデータA～Dが記録されたサーボトラックとは異なり、トラック範囲の絶対位置(オフトラック量)を任意に設定できる測定用サーボバーストデータA～Dが記録されたエリアである。制御手段は、例えばシステムの起動時に情報生成手段によりオフトラック関係情報を算出するときに、その測定用トラックを使用する。

【0018】このような方式であれば、通常のサーボバーストデータA～Dでは得られないトラック範囲内の絶対位置に対する演算結果との関係を示すオフトラック関係情報、即ち実際のリードヘッドのオフトラック位置に近い近似曲線を得ることができる。要するに、制御手段は、リードヘッドのオフトラック位置をより高精度で得ることが可能となる。測定用トラックは、例えばディスク上の内周側のゾーン内に設けられる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図1は本実施形態に関するHDDの要部を示すブロック図であり、図2は本実施形態に関するディスクのデータ面とヘッドとの位置関係を示す図である。

(システム構成)本実施形態は、図1に示すように、ディスク記憶装置としてHDDを想定し、磁気ヘッドとしてリード/ライト分離型のヘッド2を使用したディスクドライブである。ヘッド2は、MRヘッドであるリードヘッド3と誘導型のライトヘッド4とが同一のヘッドスライダ上に一体的に実装された構造である。ヘッド2は

ディスク1の両面に対応してそれぞれ設けられている。
 【0020】HDDは、記憶媒体であるディスク1とヘッド2以外に、スピンドルモータ5と、ヘッドアクチュエータ6と、ボイスコイルモータ(VCM)7と、モータドライバ12とを有する。スピンドルモータ5は1枚または複数枚(ここでは便宜的に1枚とする)のディスク1を高速回転させる。ヘッドアクチュエータ6は、ヘッド2を保持しており、VCM7の駆動力により回転駆動してヘッド2をディスク1の半径方向に移動させるヘッド移動機構である。モータドライバ12は、CPU11によりデジタル値で設定される制御値により制御されて、VCM7およびスピンドルモータ5をそれぞれ駆動するための駆動回路である。モータドライバ12は、CPU11の制御量に従った駆動電流をVCM7に供給する。

【0021】ディスク1は、図2に示すように、データ面には同心円状の多数のトラック20が配列されている。各トラック20には、前述したように、サーボバーストデータA~Dを含むサーボデータが記録されたサーボエリアが所定の間隔で配置されている。このサーボエリアを基準とするトラックがサーボトラックである。ここで、トラック20とはサーボトラックとユーザデータが記録されたデータトラックの両方を意味している。データトラックは複数のデータセクタに分割されている。
 【0022】さらに、HDDは、ヘッドアンプ8と、リード/ライト回路9と、サーボ回路10と、CPU11と、A/Dコンバータ13と、ディスクコントローラ(HDC)14と、RAM15と、EEPROM16とを有する。

【0023】リード/ライト回路9は通常では専用の集積回路(リードチャネルとも呼ばれる)であり、リード/ライト信号の処理回路である。リード/ライト回路9は、リードヘッド3により読出されたリード信号をヘッドアンプ8を介して入力し、各種の信号処理を実行して元のデータ(リードデータ)に復号する。また、リード/ライト回路9は、HDC14から転送されたライトデータを所定の変調方式(例えばRL方式)により変調したライト信号をヘッドアンプ8に出力する。ヘッドアンプ8はライト信号を書込み電流に変換してライトヘッド4に出力する。

【0024】HDC14は、HDDとホストコンピュータとのインターフェースを構成し、ホストコンピュータとの間でリード/ライトデータ及びアクセスコマンド(リード/ライトコマンド)の転送を制御する。CPU11は、HDC14を介してホストコンピュータからアクセスコマンドを受信し、ディスク1に対するヘッド位置決め制御を含むデータアクセス制御を実行する。

【0025】本発明に係るヘッド位置決め制御は、CPU11とサーボ回路10とにより実行される。サー

ボ回路10は、リード/ライト回路9に内蔵されており、リードヘッド3のリード信号からサーボバーストデータA~Dの各アナログ信号を抽出するサンプルホールド回路などを含む。A/Dコンバータ13は、サーボ回路10により抽出されたアナログ信号のレベルA~Dをデジタル値に変換してCPU11に出力する。CPU11は、入力したサーボバーストデータA~Dのデジタル値を使用して、後述するように、トラック追従制御に必要な位置誤差演算を実行する。さらに、本実施形態のCPU11は、トラック追従制御時に、EEPROM16に格納されたオフトラック関係情報を使用して、リードヘッド3のオフトラック量(指定のトラック範囲のオフトラック位置)を算出する。CPU11は、算出したオフトラック量に従った制御量(デジタル値)をモータドライバ12に出力する。モータドライバ12はD/Aコンバータを有し、CPU11からの制御量をアナログの駆動電流に変換してVCM7に供給する。

【0026】EEPROM16は書換え可能な不揮発性のプログラマブルROMであり、後述するように、CPU11により算出されたオフトラック関係情報を格納する。RAM(ランダム・アクセス・メモリ)15はリード/ライトメモリであり、CPU11の各種制御処理に必要なデータを格納するためのワークメモリである。

(オフトラック関係情報の生成処理) まず、HDDでは、ホストコンピュータからアクセスコマンドが発行されると、CPU11はHDC14を介してコマンド(ここではリードコマンドとする)を受信し、データアクセス制御を実行する。即ち、CPU11は、コマンドに含まれる論理アドレスに対応する目標トラックを決定し、リードヘッド3をその目標トラックまで移動させるシーク制御を実行する。シーク制御では、前述したように、CPU11は、リードヘッド3により読出されるサーボデータのトラックアドレス(シリンドラドレス)を使用してリードヘッド3の現在位置を検出し、この現在位置から目標トラックまでの移動制御を行なう。

【0027】次に、CPU11は、トラック追従制御に移行して、リードヘッド3を目標トラックの範囲内に位置決めするための位置制御を実行する。トラック追従制御では、CPU11は、リードヘッド3により読出されるサーボバーストデータA~Dを使用して、位置誤差演算を実行する。CPU11は、トラック中心を基準位置として、指定の目標トラック(ここではサーボトラックNとする)の $-1/4T_{sv}$ から $+1/4T_{sv}$ までの範囲であれば、サーボバーストデータA、Bを使用する位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行する(図3(3A)を参照)。また、 $-1/2T_{sv}$ から $-1/4T_{sv}$ までの範囲と、 $+1/4T_{sv}$ から $+1/2T_{sv}$ までの範囲については、サーボバーストデータC、Dを使用する位置誤差演算「 $(C-D)/(C+D)$ 」を実行する。

11

【0028】CPU11は、位置誤差演算の結果Pとオフトラック量との関係から、リードヘッド3のオフトラック量（オフトラック位置）TFを求めて、このオフトラック量を解消（即ち、0にする）するための制御量を出力する。ここで、位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」の演算結果Pが「0」であれば、図3（3A）に示すように、リードヘッド3は基準位置（R0）に位置していることになる。

【0029】このようなトラック追従制御において、本実施形態ではCPU11はEEPROM16に格納されたオフトラック関係情報を使用して、位置誤差演算の演算結果Pとオフトラック量との関係が非線形の場合でも、演算結果Pに対するオフトラック量を特定できる近似曲線を設定して、リードヘッド3のオフトラック量（オフトラック位置）TFを求める。以下、図3と共に、図4のフローチャートを参照してオフトラック関係情報の生成処理を説明する。

【0030】CPU11は、例えばHDDの製造時または製品出荷後のHDDの起動時に、オフトラック関係情報の生成処理を実行する。まず、CPU11は、所定のサーボトラックNまでリードヘッド3を移動させて、トラックNの範囲内でリードヘッド3から得られるサーボバーストデータA、Bを使用して位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行する。CPU11は、その演算結果Pが「0」となるリードヘッド3の位置（R0）をトラック中心TCに相当する基準位置（オフトラック量TFが0）として設定する（ステップS1）。

【0031】次に、CPU11は、基準位置（R0）からリードヘッド3を、トラックN+1の方向に移動調整して、サーボバーストデータC、Dの中心位置（トラック間の境界位置）に位置決めする（位置R1）。このとき、CPU11は、サーボバーストデータA、Bを使用して位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して、演算結果P1を算出する（ステップS2）。この演算結果P1に対するオフトラック量TFは「 $+1/2Tsv$ 」であると設定する。同様に、基準位置（R0）からリードヘッド3を、トラックN-1の方向に移動調整して、サーボバーストデータC、Dの中心位置に位置決めする（位置R3）。このとき、CPU11は、サーボバーストデータA、Bを使用して位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して、演算結果P3を算出する（ステップS2）。この演算結果P3に対するオフトラック量TFは「 $-1/2Tsv$ 」であると設定する。

【0032】次に、CPU11は基準位置（R0）からリードヘッド3を、トラックN+1の方向に移動調整して、サーボバーストデータA、Dの中心位置に位置決めする（位置R2）。このとき、CPU11は、位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して、演算結果P2を算出する（ステップS3）。また、CPU11は基準位置（R0）からリードヘッド3を、トラックN-

12

1の方向に移動調整して、サーボバーストデータB、Dの中心位置に位置決めする（位置R4）。このとき、CPU11は、位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して、演算結果P4を算出する（ステップS4）。CPU11は、演算結果P2に対するオフトラック量TFが「 $+1/4Tsv$ 」であると設定する。また、CPU11は、演算結果P4に対するオフトラック量TFが「 $-1/4Tsv$ 」であると設定する。

【0033】以上のようにして、CPU11は、オフトラック量「0」、 $\pm 1/4Tsv$ 、 $\pm 1/2Tsv$ の5箇所の絶対位置（基準位置を含む）に対する演算結果P1～P4を求める。CPU11は、その5点の絶対位置を通る近似曲線を設定することにより、演算結果P1～P4に対するオフトラック量TFとの関係を示すオフトラック関係情報（テーブル化情報）を作成して、EEPROM16に格納する（ステップS5、S6）。ここで、オフトラック関係情報はテーブル化情報ではなく、前記の近似曲線に基づいて演算結果Pに対するオフトラック量TFを特定できる計算式でもよい。

【0034】このようなオフトラック関係情報の生成処理により、オフトラック関係情報がEEPROM16に格納される。そして、前記のような通常のデータアクセス動作が開始されると、CPU11はシーク制御の後に、トラック追従制御に移行してリードヘッド3を目標トラックに位置決めする（ステップS7～S9）。このトラック追従制御時に、CPU11はEEPROM16からRAM15にオフトラック関係情報をロードして、リードヘッド3により読出されたサーボバーストデータA、Bを使用した演算結果Pからオフトラック量を推定することができる。CPU11は、推定したオフトラック量であるリードヘッド3のオフトラック位置により、トラック追従制御のフィードバック量の係数Kを切り替えて、高精度のトラック追従制御を実行することが可能となる（ステップS10）。

【0035】以上のように本実施形態によれば、リードヘッド3として使用するMRヘッドの読出し感度特性が不均一なために、位置誤差演算の演算結果とオフトラック量との関係が非線形性の場合でも、その非線形性を示す近似曲線をオフトラック関係情報としてトラック追従制御のフィードバック制御系の中に取り込むことができる。従って、CPU11は、リードヘッド3により読出されサーボバーストデータを使用した位置誤差演算の演算結果に基づいて、オフトラック関係情報を参照することにより（または計算式による計算により）、リードヘッド3の目標トラックの範囲におけるオフトラック量（オフトラック位置）を高精度に推定することができる。この推定結果を利用して、リードヘッド3の目標トラックの範囲内の指定の位置に確実に位置決めすることができる。

（本実施形態の変形例1）図5は本実施形態の変形例1

13

に関係する図である。本変形例1は、図2に示すように、ディスク1上の例えば内周側ゾーンの所定のトラック20aを、測定用トラックとして設定した方式である。この測定用トラックには、図5(5A)に示すような配列構成の測定用サーボバーストデータA~Dが予め記録されている。この測定用サーボバーストデータA~Dは、データA、Bは通常の配列であるが、データC、DがデータA、Bの中心位置で重なり、相互に $\pm 1/4 Tsv$ の範囲が重なるように配列されている。

【0036】本変形例1では、CPU11は、測定用トラックを使用してオフトラック関係情報の生成処理を実行し、前述のオフトラック量「0」、 $\pm 1/4 Tsv$ 、 $\pm 1/2 Tsv$ の5箇所の絶対位置に対する演算結果と共に、図5(5B)に示すように、 $\pm 1/8 Tsv$ と $\pm 3/8 Tsv$ の各絶対位置に対する演算結果Pを求めることができる。

【0037】具体的には、CPU11は、基準位置(R0)からリードヘッド3を、トラックN+1の方向に移動調整して、サーボバーストデータA、Dの中心位置に位置決めする(位置R5)。このとき、CPU11は、位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して演算結果P5を算出する。CPU11は、演算結果P5に対するオフトラック量TFが「 $+1/8 Tsv$ 」であると設定する。同様に、CPU11は、基準位置(R0)からリードヘッド3を、トラックN-1の方向に移動調整して、サーボバーストデータB、Cの中心位置に位置決めする(位置R6)。このとき、CPU11は、位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して演算結果P6を算出する。CPU11は、演算結果P6に対するオフトラック量TFが「 $-1/8 Tsv$ 」であると設定する。

【0038】さらに、CPU11は、基準位置(R0)からリードヘッド3を、トラックN+1の方向に移動調整して、サーボバーストデータA、Cの中心位置に位置決めする(位置R7)。このとき、CPU11は、位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して演算結果P7を算出する。CPU11は、演算結果P7に対するオフトラック量TFが「 $+3/8 Tsv$ 」であると設定する。同様に、CPU11は、基準位置(R0)からリードヘッド3を、トラックN-1の方向に移動調整して、サーボバーストデータB、Dの中心位置に位置決めする(位置R8)。このとき、CPU11は、位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して演算結果P8を算出する。CPU11は、演算結果P8に対するオフトラック量TFが「 $-3/8 Tsv$ 」であると設定する。

【0039】以上のように本変形例1によれば、CPU11は、オフトラック量「0」、 $\pm 1/4 Tsv$ 、 $\pm 1/2 Tsv$ 、 $\pm 1/8 Tsv$ 、 $\pm 3/8 Tsv$ の9点の絶対位置に対する演算結果とオフトラック量との関係を

14

示す近似曲線を設定することができる。この近似曲線を示すオフトラック関係情報をEEPROM16に格納して、通常のデータアクセス時のトラック追従制御に使用する。(本実施形態の変形例2)図6は本実施形態の変形例2に関係する図である。本変形例2もディスク1上の例えば内周側ゾーンの所定のトラック20aを、測定用トラックとして設定した方式である。この測定用トラックには、図6(6A)に示すような配列構成の測定用サーボバーストデータA~Dが予め記録されている。この測定用サーボバーストデータA~Dは、データA、Bは通常の配列であるが、データC、Dの中心が $+1/4 Tsv$ の位置になるように配列されている。

【0040】本変形例2では、CPU11は、測定用トラックを使用してオフトラック関係情報の生成処理を実行し、前述のオフトラック量「0」、 $\pm 1/4 Tsv$ 、 $\pm 1/2 Tsv$ の5箇所の絶対位置に対する演算結果と共に、図6(6B)に示すように、 $+1/8 Tsv$ の各絶対位置に対する演算結果P5を求めることができる。

【0041】具体的には、CPU11は、基準位置(R0)からリードヘッド3を、トラックN+1の方向に移動調整して、サーボバーストデータC、Dの中心位置に位置決めする(位置R2)。このとき、CPU11は、位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して演算結果P2を算出する。CPU11は、演算結果P2に対するオフトラック量TFが「 $+1/4 Tsv$ 」であると設定する。同様に、CPU11は、基準位置(R0)からリードヘッド3を、トラックN+1の方向に移動調整して、サーボバーストデータA、D(B、C)の中心位置に位置決めする(位置R5)。このとき、CPU11は、位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して演算結果P5を算出する。CPU11は、演算結果P5に対するオフトラック量TFが「 $+1/8 Tsv$ 」であると設定する。

【0042】以上のように本変形例2によれば、CPU11は、オフトラック量「0」、 $\pm 1/4 Tsv$ 、 $\pm 1/2 Tsv$ 、 $+1/8 Tsv$ の6点の絶対位置に対する演算結果とオフトラック量との関係を示す近似曲線を設定することができる。この近似曲線を示すオフトラック関係情報をEEPROM16に格納して、通常のデータアクセス時のトラック追従制御に使用する。

(本実施形態の変形例3)図7は本実施形態の変形例3に関係する図である。本変形例3は前記の本変形例2のデータC、Dのパターンが逆のパターンの場合である。即ち、測定用サーボバーストデータA~Dは、データA、Bは通常の配列であるが、データC、Dの中心が $-1/4 Tsv$ の位置になるように配列されている。

【0043】本変形例3では、CPU11は、測定用トラックを使用してオフトラック関係情報の生成処理を実行し、前述のオフトラック量「0」、 $\pm 1/4 Tsv$ 、 $\pm 1/2 Tsv$ の5箇所の絶対位置に対する演算結果と

共に、図7(7B)に示すように、 $-1/8Tsv$ の各絶対位置に対する演算結果P6を求めることができる。

【0044】具体的には、CPU11は、基準位置(R0)からリードヘッド3を、トラックN-1の方向に移動調整して、サーボバーストデータC、Dの中心位置に位置決めする(位置R4)。このとき、CPU11は、位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して演算結果P4を算出する。CPU11は、演算結果P4に対するオフトラック量TFが「 $-1/4Tsv$ 」であると設定する。同様に、CPU11は、基準位置(R0)からリードヘッド3を、トラックN-1の方向に移動調整して、サーボバーストデータA、D(B、C)の中心位置に位置決めする(位置R6)。このとき、CPU11は、位置誤差演算「 $(A-B)/(A+B)$ 」を実行して演算結果P6を算出する。CPU11は、演算結果P6に対するオフトラック量TFが「 $-1/8Tsv$ 」であると設定する。

【0045】以上のように本変形例3によれば、CPU11は、オフトラック量「0」、 $\pm 1/4Tsv$ 、 $\pm 1/2Tsv$ 、 $-1/8Tsv$ の6点の絶対位置に対する演算結果とオフトラック量との関係を示す近似曲線を設定することができる。この近似曲線を示すオフトラック関係情報をEEPROM16に格納して、通常のデータアクセス時のトラック追従制御に使用する。

(本実施形態の変形例4)図13は本実施形態の変形例4に関する図である。本変形例4は、測定用サーボバーストデータA、B、C1、D1、C2、D2、C3、D3が測定用トラックに記録された場合である。データC3、D3はトラック間の境界位置(トラックNとN-1)を中心として直交配列されている。データC1、D1は $-1/6Tsv$ の位置を中心として直交配列されている。また、データC2、D2は $-1/3Tsv$ の位置を中心として直交配列されている(13Aを参照)。

【0046】本変形例4では、CPU11は、測定用トラックを使用してオフトラック関係情報の生成処理を実行し、前述のオフトラック量「0」、 $\pm 1/4Tsv$ 、 $\pm 1/2Tsv$ の5箇所の絶対位置に対する演算結果と共に、図13(13B)に示すように、 $-1/6Tsv$ の絶対位置に対する演算結果P9、及び $-1/3Tsv$ の絶対位置に対する演算結果P10を求めることができる。

【0047】なお、前述の変形例1～3の場合と同様に、演算結果とオフトラック量との関係を示す近似曲線を設定して、この近似曲線を示すオフトラック関係情報をEEPROM16に格納して、通常のデータアクセス時のトラック追従制御に使用する。

(本実施形態の変形例5)図14は本実施形態の変形例5に関する図である。本変形例5は前記の本変形例4のデータC1、D1、C2、D2、C3、D3のパターンが逆のパターンの場合である。即ち、データC3、D

3はトラック間の境界位置(トラックNとN+1)を中心として直交配列されている。データC1、D1は $+1/6Tsv$ の位置を中心として直交配列されている。また、データC2、D2は $+1/3Tsv$ の位置を中心として直交配列されている(14Aを参照)。

【0048】本変形例5では、CPU11は、測定用トラックを使用してオフトラック関係情報の生成処理を実行し、前述のオフトラック量「0」、 $\pm 1/4Tsv$ 、 $\pm 1/2Tsv$ の5箇所の絶対位置に対する演算結果と共に、図14(14B)に示すように、 $+1/6Tsv$ の絶対位置に対する演算結果P12、及び $+1/3Tsv$ の絶対位置に対する演算結果P11を求めることができる。

【0049】なお、前述の変形例1～3の場合と同様に、演算結果とオフトラック量との関係を示す近似曲線を設定して、この近似曲線を示すオフトラック関係情報をEEPROM16に格納して、通常のデータアクセス時のトラック追従制御に使用する。

(本実施形態の変形例6)図15は本実施形態の変形例6に関する図である。本変形例6は前記の本変形例4、5を合わせたものである。即ち、データC3、D3及びデータC6、D6(D6は図示せず)はトラック間の境界位置を中心として直交配列されている。データC1、D1は $-1/6Tsv$ の位置を中心として直交配列されている。また、データC2、D2は $-1/3Tsv$ の位置を中心として直交配列されている。データC4、D4は $+1/6Tsv$ の位置を中心として直交配列されている。データC5、D5は $+1/3Tsv$ の位置を中心として直交配列されている(15Aを参照)。

【0050】本変形例6では、CPU11は、測定用トラックを使用してオフトラック関係情報の生成処理を実行し、前述のオフトラック量「0」、 $\pm 1/4Tsv$ 、 $\pm 1/2Tsv$ の5箇所の絶対位置に対する演算結果と共に、図15(15B)に示すように、演算結果P9、P10、P11、P12を求める。即ち、CPU11は、 $-1/6Tsv$ の絶対位置に対する演算結果P9、 $-1/3Tsv$ の絶対位置に対する演算結果P10、 $+1/6Tsv$ の絶対位置に対する演算結果P12、及び $+1/3Tsv$ の絶対位置に対する演算結果P11を求めることができる。

【0051】なお、前述の変形例1～3の場合と同様に、演算結果とオフトラック量との関係を示す近似曲線を設定して、この近似曲線を示すオフトラック関係情報をEEPROM16に格納して、通常のデータアクセス時のトラック追従制御に使用する。

【0052】なお、本実施形態及び変形例1～6では、オフトラック関係情報をEEPROM16に格納する場合を想定したが、これに限ることなく、ディスク1上の所定のトラックに格納するようにしてもよい。

【0053】また、変形例1～6において、測定用サー

17

ボバーストデータを測定用トラックの全範囲に渡って記録する構成でもよい。この様な構成であれば、測定用サーボバーストデータの平均値を求めることが可能となる。さらに、測定用トラックを複数個用意して、各測定用トラック毎に測定用サーボバーストデータ A、B 及び C、D のそれぞれの直交配列の中心位置を変化させた構成でもよい。さらに、測定用サーボバーストデータのピッチはトラックピッチ T_{sv} に相当する値を想定したが、このトラックピッチ T_{sv} より小さいピッチでもよい。これにより、トラック範囲内でのヘッドの位置をより細かく測定することが可能となる。

【0054】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、リードヘッドとしてMRヘッドを使用し、サーボバーストデータを使用したヘッド位置決め制御を行なうディスク記憶装置において、サーボバーストデータを使用した位置誤差演算の演算結果とオフトラック量との関係を示すオフトラック関係情報を生成することにより、演算結果とオフトラック量との関係特性が非線形性の場合でも、演算結果からオフトラック量（ヘッドのオフトラック位置）を高精度に検出することができる。従って、ヘッドを指定のトラックの範囲に位置決めするトラック追従制御時に、ヘッドを高精度に位置決めすることができる。これにより、高記録密度化により相対的にMRヘッドの読出し感度の不均一性などにより演算結果とオフトラック量との関係特性が非線形性の場合でも、確実なヘッド位置決め制御を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態に関するHDDの要部を示すブロック図。

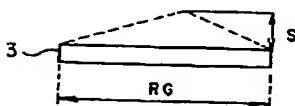
【図 2】本実施形態に関するディスクのデータ面とヘッドとの位置関係を示す図。

【図 3】本実施形態のオフトラック関係情報の生成処理を説明するための図。

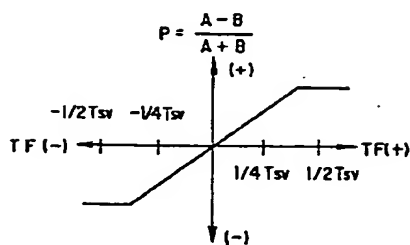
【図 4】本実施形態のオフトラック関係情報の生成処理を説明するためのフローチャート。

【図 5】本実施形態の変形例 1 に関するオフトラック関係情報の生成処理を説明するための図。

【図 9】



【図 11】



18

【図 6】本実施形態の変形例 2 に関するオフトラック関係情報の生成処理を説明するための図。

【図 7】本実施形態の変形例 3 に関するオフトラック関係情報の生成処理を説明するための図。

【図 8】従来のヘッド位置決め制御に関するサーボバーストデータの構成と位置誤差演算を説明するための図。

【図 9】従来のMRヘッドの読出し感度特性を説明するための図。

10 【図 10】従来のヘッド位置決め制御に関するオフトラック量と演算結果との関係を示す特性図。

【図 11】従来のヘッド位置決め制御に関するオフトラック量と演算結果との関係を示す特性図。

【図 12】従来のヘッド位置決め制御に関するオフトラック量と演算結果との関係を示す特性図。

【図 13】本実施形態の変形例 4 に関するオフトラック関係情報の生成処理を説明するための図。

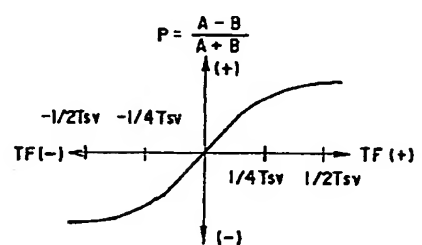
【図 14】本実施形態の変形例 5 に関するオフトラック関係情報の生成処理を説明するための図。

20 【図 15】本実施形態の変形例 6 に関するオフトラック関係情報の生成処理を説明するための図。

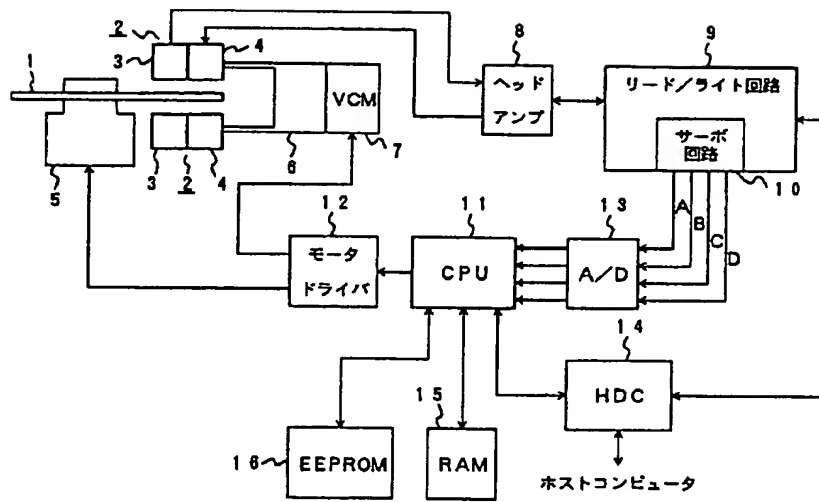
【符号の説明】

- 1…ディスク
- 2…磁気ヘッド（リード／ライト分離型ヘッド）
- 3…リードヘッド（MRヘッド）
- 4…ライトヘッド
- 5…スピンドルモータ
- 6…ヘッドアクチュエータ
- 7…ボイスコイルモータ（VCM）
- 30 8…ヘッドアンプ
- 9…リード／ライト回路
- 10…サーボ回路
- 11…CPU
- 12…モータドライバ
- 13…A/Dコンバータ
- 14…ディスクコントローラ（HDC）
- 15…RAM
- 16…EEPROM

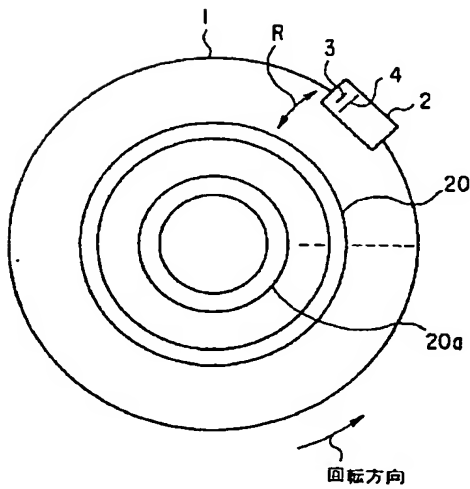
【図 12】



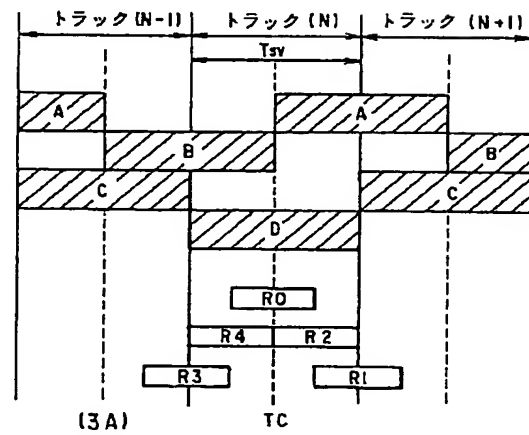
【図 1】



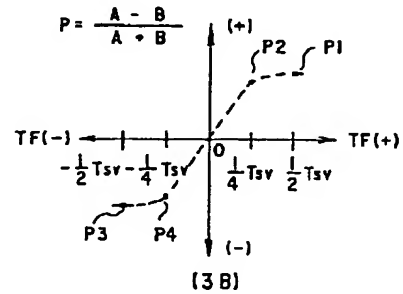
【図 2】



【図 3】

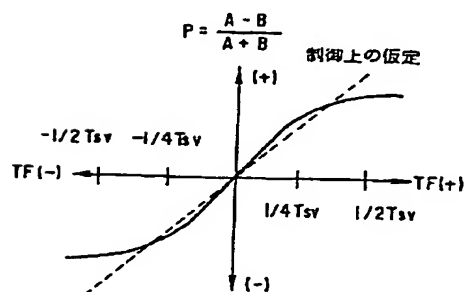


(3A)

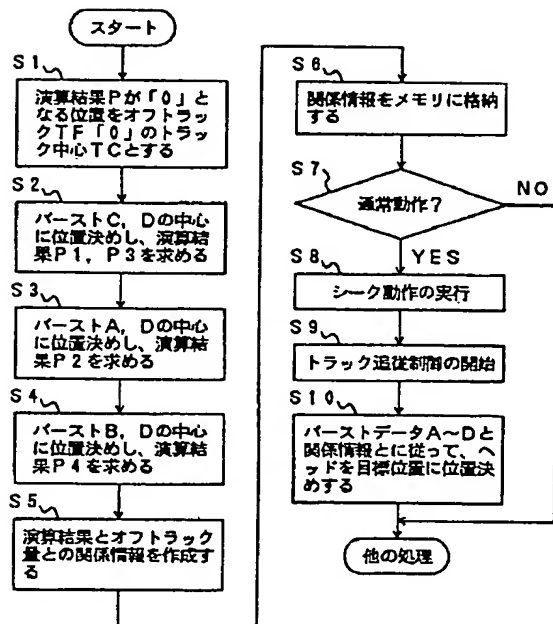


(3B)

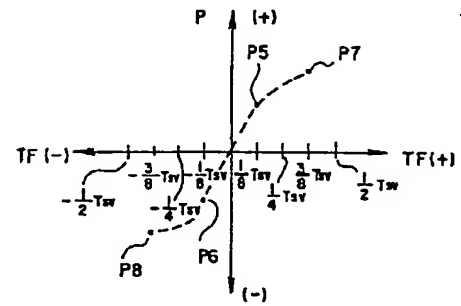
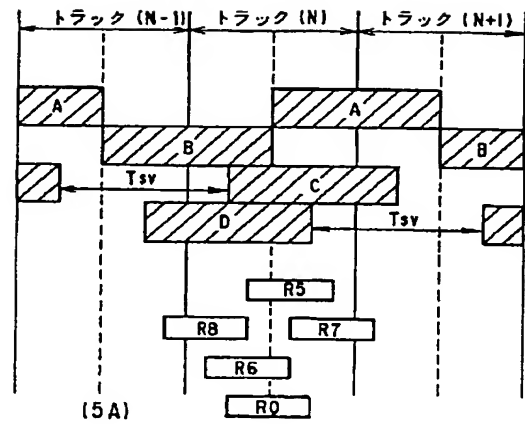
【図 10】



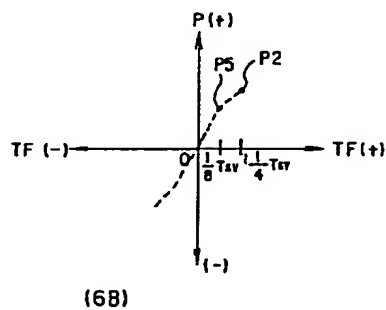
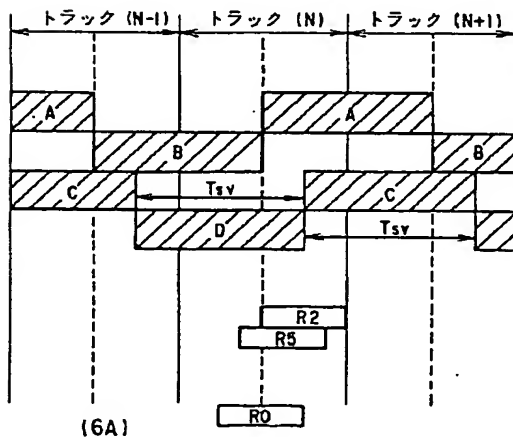
【図 4】



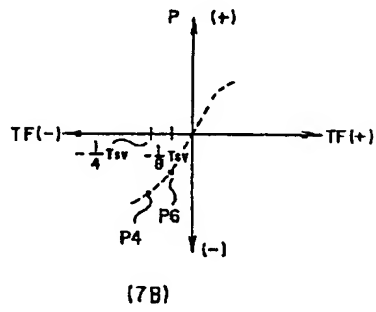
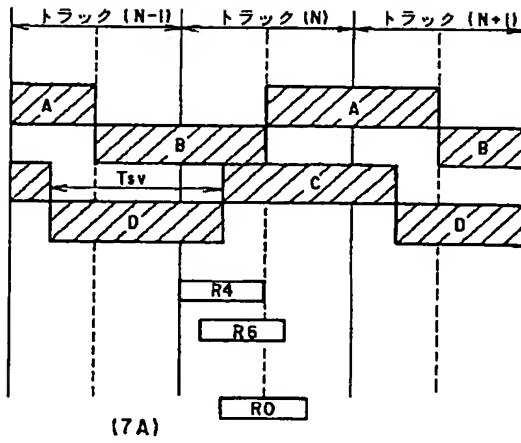
【図 5】



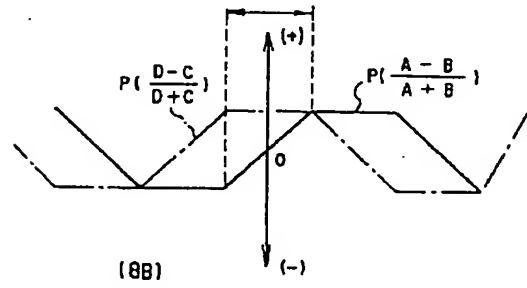
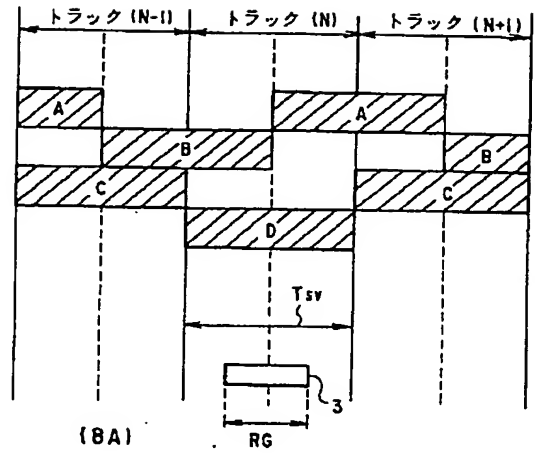
【図 6】



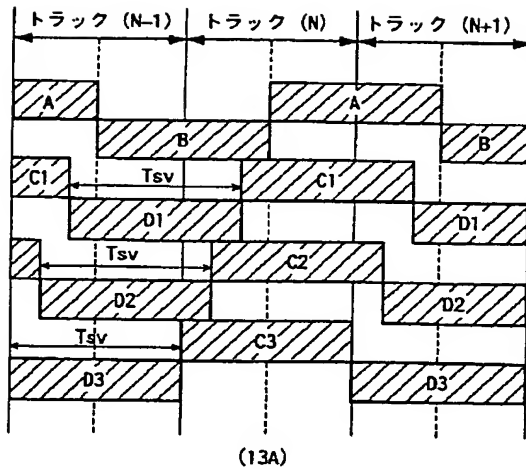
【図 7】



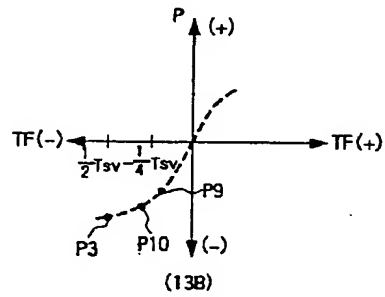
【図 8】



【図 1 3】

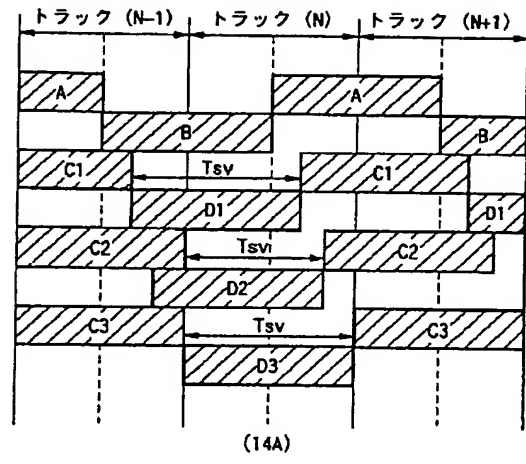


(13A)

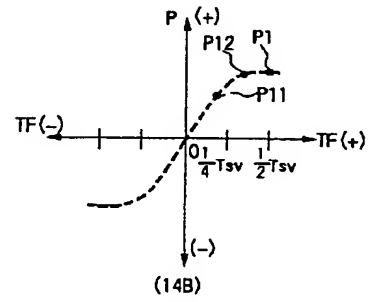


(13B)

【図 1 4】



(14A)



(14B)

【図 1 5】

